

ディスクライン天体に対する電離部分吸収体モデルの適用

2011年度 天文・天体物理夏の学校 コン24C

磯 直樹^{1,2}

¹ 東京大学 大学院理学系研究科 天文学専攻 修士課程2年

² 宇宙航空研究開発機構 / 宇宙科学研究所

iso@astro.isas.jaxa.jp

概要

活動銀河中心核 (AGN) や銀河系内ブラックホール連星系 (BHB) の X 線エネルギースペクトル中には、一般相対論の効果で重力赤方偏移を受けて低エネルギー側に裾を引いた鉄輝線のように見える、特徴的なスペクトル構造が存在する。このスペクトル構造を説明するモデルとして、降着円盤内縁から放出される鉄輝線が相対論的效果によって歪められる「ディスクラインモデル」が提案されているが、まだ十分には検証されていない。

Miyakawa et al. (2011) は、そのような鉄輝線構造をもつ代表的な天体であるセイファート I 型銀河 MCG-6-30-15 のデータを解析し、電離した光学的に厚い吸収物質が視線を隠している「電離部分吸収モデル」を提案した。彼らのモデルは、直接成分、電離吸収成分、遠方からの反射成分、細い鉄輝線から構成され、広がった鉄輝線のように見える構造は電離吸収帯の鉄吸収端として説明される。また、スペクトルの強度変化を、ブラックホールからの X 線のうちどれだけの割合が吸収体によって隠されるかというパラメータ、「カバーリングファクター」の変化のみで説明できることを示した。このモデルでは、「ディスクライン」のように広がった鉄輝線は必要としない。我々は、このモデルが他の「広がった鉄輝線のように見えるスペクトル構造」をもつ AGN、BHB にどこまで適用可能か検証している。ここではその中間報告を行う。

1 Introduction: 広がった鉄輝線構造

Barr et al. (1985) は、EXOSAT 衛星を用いて銀河系内のブラックホール候補天体 Cygnus X-1 を観測したところ、X 線エネルギースペクトル中の 6.4 keV あたりに、広がったように見える鉄輝線構造を検出した。これは、降着円盤の内側ではドップラーシフトと重力赤方偏移の効果によって鉄輝線が低エネルギー側に歪められてしまう、といったモデル、「Disk-line」モデルで説明できると提案された。このような鉄輝線構造は、いくつかのセイファート I 型銀河からも同様に観測された (図 1)。Page et al. (2004)、Nandra et al. (2007) らは、多くのセイファート銀河の X 線スペクトルを調べ、そのほとんどが細い鉄輝線構造を示し、「Disk-line」構造をもつ天体は数が少ないことを報告した。

もし「Disk-line」モデルが正しいならば、ブラックホール近傍の強重力場を直接測ることが可能であるが、そのモデルのパラメータはスペクトルの連続一次成分の形に大きく依存するため、その正当性は未だに議論中である。その他に、ブラックホールが高速で回転しているというカーブラックホールや、電離吸収体 (warm absorber) でスペクトル構造を説明しようとしてされているが、いずれもモデルが複雑であったり、パラメータがモデルの形に大きく依存しているため、本質的な物理現象とはかけ離れてしまっているといった問題がある。

Miyakawa et al. (2011) は、「Disk-line」構造をもつ代表的なセイファート I 型銀河 MCG-6-30-15 のデータを解析し、電離した光学的に厚い吸収物質が視線を隠している「電離部分吸収モデル (以後、Partial covering モデル: PC モデル)」を提案した。セイファート銀河の X 線スペクトルは、視線上にある光学的に厚い電離した物体 (warm absorber) による高電離イオンの吸収構造を持つことは既に知られていた。実際、Miller et al. (2008) は 5 つの warm absorber を考慮に入れたモデルを提案し、MCG-6-30-15 のスペクトルを説明できると報告している (ただし、パラメータが多くモデルは複雑)。一方 PC モデルでは、わずか 3 つのパラメータで MCG-6-30-15 のスペクトルを説明することに成功している。また、スペクトルの強度変化を、ブラックホールからの X 線のうちどれだけの割合が吸収体によって隠されるかというパラメータ、「カバーリングファクター」の変化のみで説明できることを示した。

我々は、Miyakawa et al. (2011) で提案されたモデルが、他の「Disk-line」構造をもつ AGN、ブラックホール連星系にどこまで適用可能かを検証している。ここでは、NGC 3516 に対する適用結果を報告する。

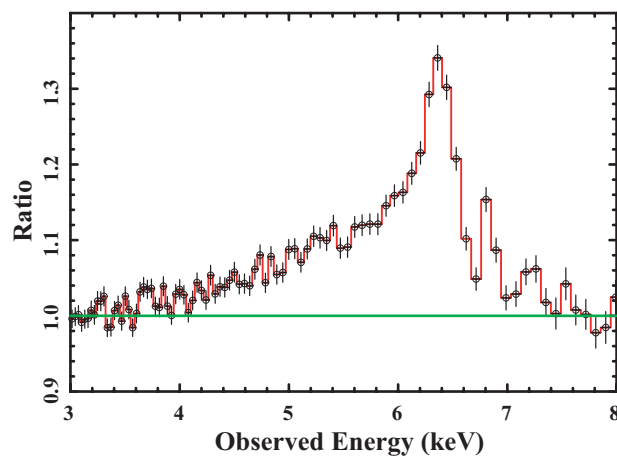


図 1: すざく衛星 XIS 検出器で観測された MCG-6-30-15 のエネルギースペクトル (3-8 keV) を power-law でフィットした比。6.4 keV の鉄輝線が低エネルギー側に広がっているような構造が見られる。

2 Model: 電離部分吸収モデル

PC モデルは以下の式で表される。

$$F = W_H W_L (N_1 + N_2 W_2) P + N_3 R P + I_{Fe} \quad (1)$$

N_1 、 N_2 はそれぞれ直接成分、吸収成分、 N_3 は円盤からの反射成分を表す。 N_3 は直接成分の平均 $\langle N_1 \rangle$ を用いて、 $N_3 / \langle N_1 \rangle = \Omega / 2\pi \sim 0.3$ の関係にある。 W_H 、 W_L は高電離、低電離の warm absorber を、 W_2 は「Disk-line」構造を作る部分吸収体を表す。右辺第2項は反射成分、第3項は細い鉄輝線である。このモデルでは、 N_1 、 N_2 、 W_L の3つのみがフリーパラメータとなっている。Miyakawa et al. (2011) はこれらの最小限のパラメータを用いて、MCG-6-30-15 のスペクトルを説明し、広がった鉄輝線のような構造は warm absorber による吸収端構造であり、「Disk-line」は必要がないことを示した。

さらに彼らは、強度別に分けたスペクトルに PC モデルを適用したところ、 N_1 、 N_2 、 W_L に相関があることを発見した。ここで、 $N = N_1 + N_2$ 、 $\alpha = N_2 / N$ を導入すると、(1) 式は、

$$F = W_H W_L \{ (1 - \alpha) + \alpha W_2 \} N P + N_3 R P + I_{Fe} \quad (2)$$

と変形できる。 N は全成分、 α はブラックホールからの X 線のうちどれだけの割合が吸収体によって隠されているのかを表す「カバーリングファクター」である。新たなパラメータ α を導入した結果、その変化のみでスペクトルの強度変化を説明することに成功した。図3に彼らが提案するモデルの描像を示す。ブラックホールを取り囲んでやや広がり、変動していない X 線源の視線上にたくさんの吸収体が存在し、それらが X 線源を覆い隠すカバーリングファクターの変化が観測される主な強度変化とスペクトル変化を説明する。それらの部分吸収体は変動していない高電離吸収体の中にあり、1) 非電離で完全に X 線を通さないコア、2) 電離が進んでトムソン散乱に対する光学的厚みがほぼ1である中間層、3) その外側より光学的に薄い層の三層からなっている。

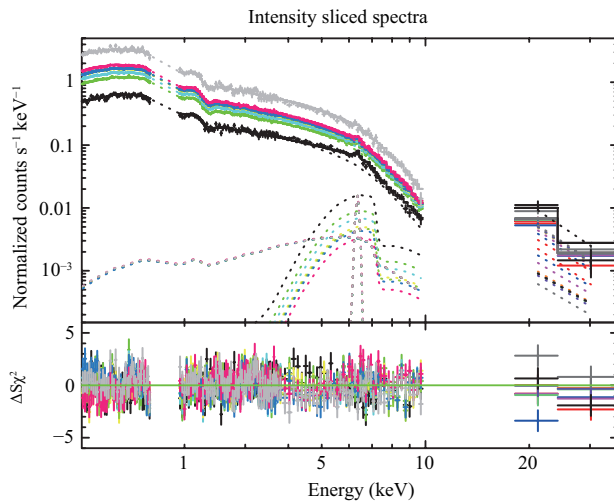


図2: すざく衛星で観測された MCG-6-30-15 の強度別スペクトルに対する PC モデル適用結果。

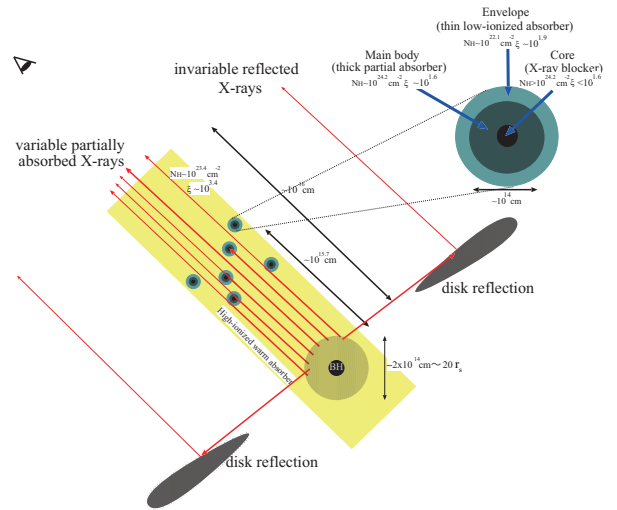


図3: Miyakawa et al. (2011) が提案する PC モデルの描像と部分吸収体の構造 (右上)。吸収体は三層からなり、これらが X 線を隠す割合がカバーリングファクターである。

3 Result: 電離部分吸収モデルの適用

PCモデル適用のサンプルとして、図1で示すような「広がった鉄輝線のような構造」をもつ天体かつ時間変動しているものを選別した。ここでは、すざく衛星で観測された NGC 3516 (Exposure~250 ksec) のスペクトルに対する適用結果を示す。

XIS (0+3) のライトカーブ (図4) から、4つの強度に分けることにした。それぞれのライトカーブの強度は、0.400–0.725, 0.725–1.050, 1.050–1.375, 1.375–1.700 cts/s となっている。

フィッティングの手順として、MCG-6-30-15 と同様なスペクトルであるという作業仮定のもとに進め、まずは時間平均のスペクトルから吸収や電離度、normalization などのパラメータを決定した。次にそのパラメータをもとに、カバーリングファクターのみ変化させて強度別スペクトルに PC モデルを適用した。図5が示す通り、MCG-6-30-15 と同様に PC モデルのカバーリングファクターの変化のみでよく再現でき、「Disk-line」は必要ないことが示された。

今後の課題として、1) 低エネルギー側でフィッティングがずれているので細かいパラメータの調整、2) サンプル数を増やし PC モデルがどこまで適用可能かを検証する、を考えている。

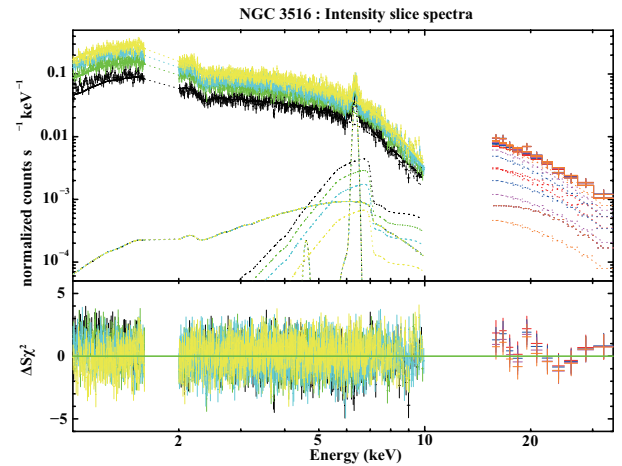
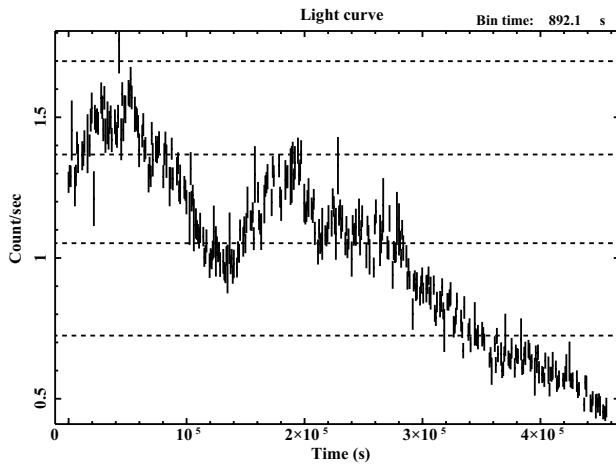


図4: すざく衛星 XIS 検出器で得られた NGC 3516 のライトカーブ (XIS0+3, バックグラウンド込み)。点線が強度別に分けたカウントを示す

図5: すざく衛星で観測された NGC 3516 の強度別スペクトルに対する PC モデルの適用結果。MCG-6-30-15 同様にスペクトル変化を説明できている。

参考文献

- Barr et al. 1985, MNRAS, 216, 65
- Ebisawa et al. 1996, ApJ, 467, 419
- Fabian et al. 1989, MNRAS, 238, 729
- Fabian et al. 1994, PASJ, 46, L59
- Fabian et al. 2002, MNRAS, 335, L1
- Miller et al. 2008, A&A, 483, 437
- Miyakawa et al. 2011, PASJ in submitted
- Miniutti et al. 2007, PASJ, 59, 315
- Nandra et al. 1991, MNRAS, 24, 760
- Nandra, Pounds & Stewart 1990, MNRAS, 242, 660
- Nandra et al. 1997, ApJ, 477, 602
- Nandra et al. 2007, MNRAS, 382, 194
- Page et al. 2004, MNRAS, 352, 523
- Tanaka et al. 1995, Nature, 375, 659